

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE DE LA INDUSTRIA TEXTIL

EVALUATION OF THE PROCESS OF COAGULATION-FLOCCULATION FOR THE TREATMENT OF EFFLUENT FROM TEXTILE INDUSTRY

Miranda-Mandujano E.^{1*}, Sandoval-Yoval L.², Calvo-Bazan Y.², Moeller- Chávez G. E.³,
Sarracino- Martínez O.⁴

^{1*}Universidad Autónoma de Guadalajara Campus Tabasco. Departamento de Gestión y Protección Ambiental. Prol. Paseo Usumacinta Km. 3.5, Fracc. El country Villahermosa Tabasco CP. 86039. México

² Subcoordinación de Aguas Residuales. Intituto Mexicano de Tecnología del Agua.

³Departamento de Ingeniería en Tecnología del Agua. Universidad Politécnica del Estado de Morelos.

⁴ Energía y Medio Ambiente. Universidad Popular de la Chontalpa.

evmirandam@uagtabasco.edu.mx*

RESUMEN

En la presente investigación se llevo a cabo la evaluación del proceso de coagulación-floculación como alternativa a los procesos convencionales para el tratamiento de efluentes de una industria textil, ubicada en el estado de Morelos. Para el diseño experimental se utilizó un diseño factorial 2^6 , realizando un total de 70 cinéticas en reactores de mezcla completa con un volumen útil de 600 mL. La dosis de coagulante y polímero, los tiempos de agitación, y el tiempo de sedimentación fueron evaluados para determinar las mejores condiciones de operación, utilizando como variables de respuesta, el color en escala platino cobalto y la demanda química de oxígeno DQO (mg/L). De acuerdo a los resultados obtenidos en las cinéticas experimentales se logró obtener un 96% de decoloración y 76% de remoción de materia orgánica medida como DQO en un tiempo de reacción de 150 min. Este tiempo de reacción, resulto ser el tiempo de agitación lenta y la sedimentación los factores influyentes directamente en el tratamiento de efluentes textiles con presencia de colorantes azo. De acuerdo a lo

anterior el proceso de coagulación floculación puede ser empleado como una alternativa a los procesos de tratamiento convencionales.

Palabras clave: agua residual; coagulación-floculación; colorante azo; decoloración; industria textil.

ABSTRACT

In the present research the evaluation of the process of coagulation-flocculation as alternative to conventional processes for the treatment of effluents of a textile industry, located in the State of Morelos was conducted. For the experimental design a factorial design 2^6 was used, making a total of 70 kinetics in reactors of entire mixture with a useful volume of 600 mL. The dose of coagulant and polymer, agitation times, and the time of sedimentation were evaluated to determine the best operating conditions, using as variables of response, the color in scale Platinum cobalt and the chemical oxygen demand COD (mg/L). According to the results obtained in the experimental kinetics, a 96% of discoloration and 76% of organic matter removal measured as COD was achieved in a reaction time of 150 minutes. This reaction time, turned to be the time of slow agitation and sedimentation the influential factors directly in the treatment of textile effluent with presence of azo colorants. According to the above the process of coagulation flocculation can be used as an alternative to conventional treatment processes.

Key words: residual water; cogulation-flocculation; azo colorant; degradation; textile industry.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales sectores influyentes en la contaminación del agua es el sector industrial. En México la industria genera alrededor de 160 m³/s de aguas residuales, sin embargo, únicamente se trata cerca del 13%. Los aportes de contaminantes están concentrados en un número limitado de actividades, entre las que destaca la industria textil. Debido a los volúmenes de descarga y a la composición de sus efluentes, esta industria es caracterizada por ser una de las principales generadoras de contaminantes del agua y desechos peligrosos [1], ya que algunos colorantes y subproductos son carcinógenos y mutagénicos. Los colorantes textiles tienen gran persistencia en el ambiente. Una gran proporción de estos colorantes no son directamente tóxicos para los organismos vivos; sin embargo, las moléculas de los colorantes utilizados en la actualidad son de estructuras muy variadas y complejas. La mayoría de ellos son de origen sintético, muy solubles en agua, altamente resistentes a la acción de agentes químicos y poco biodegradables [2].

Existen diferentes métodos físicos, químicos y biológicos que pueden ser aplicados para remover colorantes de las aguas residuales. Cada método tiene sus limitaciones técnicas y económicas.

La coagulación-floculación es un proceso prometedor para el tratamiento de efluentes con características recalcitrantes, este proceso desestabiliza la materia coloidal y causa una aglomeración de pequeñas partículas hasta alcanzar tamaños considerables y formar flóculos, que son más fácilmente eliminados por gravedad [3, 4]. En la efectividad del proceso influyen la concentración y dosificación del coagulante, el pH del agua y la fuerza iónica, así como, la concentración y naturaleza de los compuestos orgánicos [5,

6]. El objetivo de esta investigación fue evaluar el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil, determinando las mejores condiciones de operación. Llevando a cabo la evaluación de parámetros tales como: dosis de coagulante, dosis de floculante, agitación rápida-lenta y sedimentación.

METODOLOGÍA

Se realizó un muestreo compuesto a un efluente de la industria textil de la zona industrial de CIVAC en Cuernavaca Morelos que emplea colorantes azo, analizando los parámetros de la NOM 001-SEMARNAT-1996 [7] incluyendo color (Pt-Co), concentración de colorante (mg/L) y DQO (mg/L) para la caracterización del efluente (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros y técnicas de análisis utilizados en la experimentación

Variables de respuesta	Método de análisis	Equipo
pH	Potenciómetro	Potenciómetro
Conductividad	Potenciómetro	Potenciómetro
Color (Pt Co)	Espectrofotométrico	Espectro Hach, DR 2000
Sólidos Suspendidos	Espectrofotométrico	Espectro Hach, DR 2000
DQO	Espectrofotométrico	Espectro Hach, DR 2000
Turbiedad	Turbidímetro	Turbidímetro

El proceso de producción se realiza utilizando operaciones unitarias en lote, ya que de acuerdo a la demanda de producto que se tenga, es la tinción de la fibra. Las muestras colectadas fueron almacenadas en un cuarto frío a 4 °C, para su análisis posterior.

Diseño experimental. En el diseño experimental se estudiaron los efectos de seis factores (Tabla 2), en 64 pruebas más seis con niveles centrales para un total de 70 pruebas. El orden de los experimentos fue completamente aleatorizado.

Tabla 2. Diseño experimental para el proceso de coagulación floculación

Factores	Nivel		
	Bajo	Centro	Alto
Dosis Coagulante	1000mg/L	1200 mg/L	1400mg/L
Dosis Polímero	5 mg/L	10 mg/L	15 mg/L
Tiempo de Agitación Lenta	10 min	20 min	30 min
Agitación Lenta	10 rpm	20 rpm	30 rpm
Agitación Rápida (1 min)	200 rpm	250 rpm	300 rpm
Tiempo de Sedimentación	60 min	90 min	120 min

Cinéticas de reacción. Para llevar a cabo la experimentación de este tratamiento se empleó una prueba de jarras de seis reactores completamente mezclados. El tratamiento se realizó en una serie de seis vasos de precipitado de 1 L. El volumen de muestra utilizado fue de 0.6 L. Las muestras se mantuvieron homogenizadas durante las pruebas a una velocidad de agitación rápida de 200 rpm a temperatura ambiente. Posteriormente fue adicionado el coagulante de acuerdo a las dosis mencionadas en el diseño experimental. Transcurrido el tiempo se agregaron las dosis del floculante seleccionado disminuyendo la velocidad de agitación rápida a lenta, para favorecer el contacto entre

las partículas desestabilizadas y permitir que estas puedan aglomerarse para formar floculos que puedan sedimentar. Una vez concluido el proceso de tratamiento se tomaron muestras del sobrenadante para realizar las determinaciones analíticas. Determinando la eficiencia de materia orgánica y decoloración utilizando la ecuación 1:

$$\text{Porcentaje de eficiencia: } \left[1 - \frac{C_t}{C_i} \right] \times 100 \quad \text{----- ecuación 1}$$

Donde C_i es la concentración medida como DQO (mg/L) o Color (Pt/Co) al inicio de la prueba y C_t es la concentración (mg/L) o Color (Pt/Co) a un determinado tiempo de reacción. Para monitorear el seguimiento de la experimentación, para ambos procesos fisicoquímicos, se analizaron las variables de respuesta de la Tabla 3.

Tabla 3. Métodos de análisis y técnicas específicas a utilizar para los tratamientos fisicoquímicos experimentales.

Variables de respuesta	Método de análisis	Equipo
Color (Pt Co)	Espectrofotométrico	Espectro Hach, DR 2000
DQO	Espectrofotométrico	Espectro Hach, DR 2000

RESULTADOS

De acuerdo a la caracterización realizada al efluente de la industria textil, mostrado en la Tabla 4, se obtuvo que la relación DBO_5/DQO presentó valores característicos de un efluente con baja biodegradabilidad, con respecto a la concentración de sulfatos se considera que es alta debido a los detergentes que se emplean para el lavado de las fibras, lo cual presenta una limitante para los procesos de tratamiento. El fósforo y nitrógeno es atribuido a los agentes, fijadores y aditivos necesarios para el teñido. Este

tipo de efluentes son considerados xenobióticos recalcitrantes, los cuales requieren de un proceso fisicoquímico para su degradación.

Tabla 4. Caracterización del efluente general de la Industria

PARÁMETRO	VALOR
DQO (mg/L)	9313
DBO (mg/L)	794
Color verdadero (UPt/Co)	2000
Fosfatos totales	113.53
Sulfatos (mg/L)	1566
N-NH ₃ (mg/L)	404
N-Total (mg/L)	471
G y A (mg/L)	24.3

Cinéticas de remoción de color. Para la remoción del color y de acuerdo al análisis de varianza, las variables significativas fueron: dosis de coagulante, interacciones entre dosis de coagulante con Revoluciones de Agitación Rápida (RAR), dosis de polímero con Tiempo de Agitación Lenta (TAL) y TAL con RAR. Estas variables y las combinaciones fueron significativas a un nivel de confianza del 95%.

Para poder observar de una manera más gráfica los comportamientos de cada uno de los factores se presentan los gráficos de superficie de respuesta en donde se muestra el efecto significativo de cada nivel en la prueba. En la Figura 1 se presenta la relación de la

Dosis de Coagulante con el tiempo de SED (sedimentación); se puede observar que con un nivel más alto de coagulante 1400 mg/L y un tiempo de sedimentación de 120 min se pueden alcanzar porcentajes de decoloración de hasta el 96%. La relación de Dosis de Polímero y TAL, se observa que en un rango bajo de 5 mg/L a rango alto 15 mg/L únicamente se obtiene porcentajes de decoloración con un aumento del 2% y con respecto al TAL, tiene un comportamiento constante en la remoción de color, oscilando porcentajes de decoloración entre el 84 al 86%.

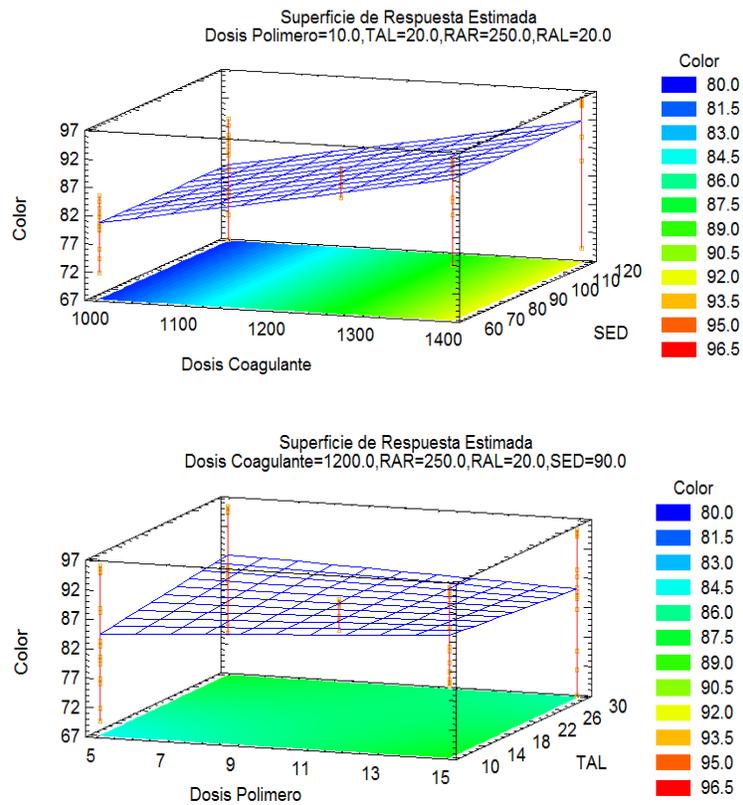


Fig. 1. Relación Dosis de coagulante con tiempo de sedimentación- Dosis de polímero y Sedimentación para la remoción de Color.

De acuerdo al diseño experimental se obtuvieron las mejores condiciones para alcanzar un porcentaje de decoloración del 96%, en la Tabla 5 se presentan las condiciones de operación.

Tabla 5. Factores de respuesta óptimos para maximizar la remoción de color en proceso Coagulación-Floculación.

Factor	Bajo	Centro	Alto	Óptimo
Dosis Coagulante (mg/L)	1000	1200	1400	1400
Dosis Polímero (mg/L)	5	10	15	15
TAL (min)	10	15	30	10
RAR (rpm)	200	250	300	200
RAL (rpm)	10	15	30	10
SED (min)	60	60	120	60

Cinéticas de remoción de DQO mg/L. Para la remoción de materia orgánica de acuerdo al análisis de varianza, las variables significativas son: Dosis de Coagulante y TAL. En la Figura 2, se observa que la relación que existe entre la dosis de coagulante y polímero, para lograr el mejor porcentaje de remoción se requieren dosis de coagulante 1400 mg/L – 5 mg/L de polímero obteniendo porcentajes del 70%.

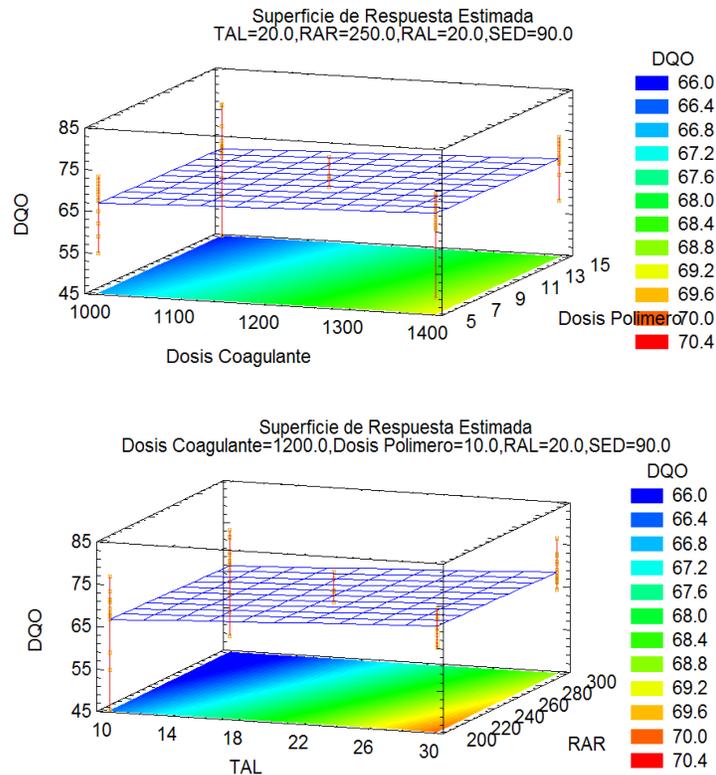


Fig. 2. Relación Dosis de coagulante con Dosis de polímero- TAL-RAR para la remoción de DQO.

Para el comportamiento que tienen los factores RAR y TAL, se observa que es necesario tener 200 rpm de RAR ya que favorece una dispersión homogénea de los polímeros adicionados y por lo tanto mejora el proceso; así como también, el mayor tiempo de agitación lenta 30 minutos, consigue una mayor remoción de la materia orgánica. De acuerdo al diseño experimental se obtuvieron las condiciones óptimas para alcanzar un porcentaje de remoción de la materia orgánica del 76% (Tabla 6).

Tabla 6. Factores de respuesta óptimos para maximizar la remoción de DQO en el proceso Coagulación-Floculación.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Dosis Coagulante (mg/L)	1000	1400	1400
Dosis Polímero (mg/L)	5	15	5
TAL (min)	10	30	30
RAR (rpm)	200	300	200
RAL (rpm)	10	30	10
SED (min)	60	120	120

CONCLUSIONES

Se determinaron las condiciones óptimas obteniendo las respuestas del diseño experimental, alcanzado porcentajes de decoloración del 96.7% utilizando concentraciones altas de coagulante 1400 mg/L y 15 mg/L de polímero en un tiempo de agitación rápida de 1 min a 200 rpm, agitación lenta de 10 min a 10 rpm y un tiempo de 60 min de sedimentación. El mayor porcentaje de remoción de DQO alcanzado fue de 76.2% utilizando dosis de coagulante 1400 mg/L y la dosis baja 5mg/L de polímero en un tiempo de agitación rápida de 1 min a 200 rpm, agitación lenta de 30 min a 10rpm y un tiempo de 120 min de sedimentación. De acuerdo a lo anterior el proceso coagulación-floculación puede ser una alternativa de tratamiento para efluentes de la industria textil.

REFERENCIAS

- [1] AMJAD, A.K. QAYYUM, H. (2007). Decolorization and removal of textile and non-textile dyes from polluted wastewater and dyeing effluent by using potato (*Solanum tuberosum*) soluble and immobilized polyphenol oxidase. *Bioresource Technology*. **98**: pp. 1012-1019.
- [2] GUPTA, V.K., SUHAS, S. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal. A review. *Journal of environmental Management*. **90**: pp. 2313-2342.
- [3] VERMA, A.K., DASH, R.R. BHUNIA, P. (2012) A review on chemical coagulation-flocculation technologies for removal of colour from textile wastewater. *Environmental Management*. **93**: pp. 154-168.
- [4] ZAHRIM, A.Y., TIZAOUI, C., HILAL, N. (2010). Evaluation of several commercial synthetic polymers as flocculant aids for removal of highly concentrated C.I. Acid Black 210 dye. *Journal of Hazardous Materials*. **182**: pp. 624-630.
- [5] CIABATTI, I., TOGNOTTI, F., LOMBARDI, L., (2010). Treatment and reuse of dyeing effluents by potassium ferrate. *Desalination*. **250**: pp. 222-228.
- [6] CHOO, K.H., CHOI, S.J., HWANG, E.D. (2007). Effect of coagulant types on textile wastewater reclamation in a combined coagulation/ultrafiltration system. *Desalination*. **202**: pp. 262-270.
- [7] NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos